



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВИАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

АО «НИИАО»
Россия, 140165, Московская область, г. Жуковский, ул. Туполева, д.18
Тел.: +7(495) 556-23-22, факс: +7(495) 556-78-40, e-mail: info@niiao.com, http: // www.niiao.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор –
Генеральный конструктор
АО «НИИАО»



А.В. Воробьев

08 2016 г.

Отзыв ведущей организации

АО «Научно-исследовательский институт авиационного оборудования»

на диссертационную работу

Кальченко Артема Олеговича

«ЗАДАЧА КАЛИБРОВКИ БЕСКАРДАННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ПОЛЕТЕ ПРИ ПОМОЩИ ИНФОРМАЦИИ ОТ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

Калибровка инерциальных навигационных систем – необходимый этап в процессе производства таких систем. Обычно калибровка осуществляется на специальных стендах, после чего откалиброванная система стационарно устанавливается на борту самолета. Однако с течением времени при эксплуатации бескарданной инерциальной навигационной системы (БИНС) параметры ее инструментальных погрешностей изменяются, вследствие чего повышаются ошибки автономной навигации.

Наличие во время полета внешней по отношению к инерциальной информации, а именно, данных спутниковой навигационной системы (СНС), позволяет проводить оценку инструментальных погрешностей по полетным

данным как в режиме постобработки, так и в реальном времени. Таким образом, возникает потребность построения методов и алгоритмов калибровки БИНС в полете.

В связи с этим диссертационные исследования Кальченко А. О., посвященные решению задачи калибровки бескарданной инерциальной навигационной системы в полете при помощи информации от спутниковой навигационной системы, являются актуальными.

Новизна исследования и полученных результатов

Соискателем разработаны и исследованы новые оригинальные процедуры калибровки БИНС, предназначенные для повышения точности автономного режима - на рулежке перед полетом для компенсации инструментальных погрешностей БИНС в конкретном запуске и в полете путем комплексной обработки информации БИНС и СНС для компенсации оценок в последующих полетах.

Разработан новый класс траекторий, на которых обеспечивается высокая точность оценки.

Теоретическая значимость работы заключается в:

1. Построении и анализе математической модели калибровки бескарданных инерциальных навигационных систем в процессе эксплуатации, как в процессе рулежки и разгона, так и в полете.
2. Построен алгоритм оценивания параметров инструментальных погрешностей БИНС, найден режим полета, обеспечивающий обусловленность задачи оценивания и легко реализуемый на летательных аппаратах различных классов - от маневренных до тяжелых.
3. Изучены проблемы, возникающие вследствие наличия погрешностей спутниковой информации, предложен способ учета данных погрешностей. Полученные результаты служат обоснованием принципиальной возможности калибровки БИНС в полете.

Основными результатами, определяющими практическую ценность диссертации, являются:

1. Построена полная математическая модель задачи. Она сведена к форме, позволяющей применение алгоритма калмановской фильтрации.
2. Показано, что требуемой точности калибровки в полете можно добиться, последовательно соединяя два типа траектории: высокочастотные колебаний по крену и тангажу с малыми амплитудами и траектории типа "змейка". Оценка результатов калибровки осуществляется с помощью выбора критерия минимума позиционной круговой ошибки после часа полета в автономном режиме. Выбирается время калибровочного полета, обеспечивающее необходимую точность автономной навигации.
3. Исследовано влияние смещенности спутниковой информации, которые на практике всегда имеют место, и предлагается способ ее учета в моделях корректирующих измерений. Показано, что включение параметров смещенности

спутниковой информации в вектор оцениваемых параметров позволяет сохранить требуемую точность калибровки.

4. Проведен анализ возможности калибровки БИНС в процессе рулежки и разгона летательного аппарата. А именно, исследована оцениваемость составляющих погрешностей БИНС, меняющихся с каждым запуском, на участках рулежки и разгона. Показано, что компенсация оценок, полученных на начальном участке, далее при автономной навигации позволяет значительно повысить ее точность.

5. Проведен анализ целесообразности использования нескольких разнесенных антенн СНС. Показано, что привлечение информации от второй антенны СНС не дает значительного улучшения точности автономной навигации.

6. Приведены результаты обработки экспериментальных данных, проведенных на стенде с реальной БИНС. В эксперименте на стенде повторяются угловые движения ЛА, возникающие в полете по предлагаемым траекториям. Результаты обработки подтверждают выводы ковариационного анализа.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием современного математического аппарата. В работе используются методы теоретической механики, теории инерциальной навигации, теории оптимального оценивания, линейной алгебры, элементы теории случайных процессов. Выводы подтверждены результатами обработки экспериментальных данных, которые обладают достаточной для практики сходимостью результатов, полученных в диссертации для сопоставимых исходных данных, с данными, полученными при проведении подобных исследований.

Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 4 печатных изданиях, 2 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 2 — в тезисах докладов.

Результаты диссертации могут быть использованы на предприятиях — разработчиках БИНС, предприятиях — разработчиках пилотажно-навигационных комплексов, а также предприятиях, занимающихся летными испытаниями навигационных систем и комплексов.

Структура диссертации характеризуется внутренним единством и логической связностью.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В качестве недостатков работы можно указать следующие.

1. Неучет запаздывания информации СНС относительно информации БИНС и смещения антенны СНС существенно скажется на точности калибровки, но в работе не приводятся оценки соответствующей ошибки. Перед тем, как приступить к предложениям об учете возмущающих факторов, необходимо дать количественную оценку последствий от возмущений.

2. В работе не рассмотрен вопрос об использовании оценок, полученных в нескольких последовательных полетах. По нашему мнению, такое исследование придало бы работе более законченный вид.

3. В работе отсутствует сравнение полученных оценок инструментальных погрешностей БИНС по уровню с аналогичными параметрами, прошитыми в вычислителе БИНС.

Выводы.

1. Отмеченные замечания не снижают научную новизну и практическую значимость диссертационной работы.

2. Диссертация КАЛЬЧЕНКО Артема Олеговича является целостной завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения. В ней решена актуальная научная задача по разработке рабочих алгоритмов по проведению калибровки БИНС в процессе эксплуатации, которые рекомендуется использовать на предприятиях соответствующего профиля и предприятиях, занимающихся летными испытаниями навигационной техники, что имеет большое значение для авиации.

3. Считаю, что диссертация КАЛЬЧЕНКО Артема Олеговича удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Данный отзыв обсужден и одобрен на заседании секции НТС отделения навигационных систем (НИО-5), протокол заседания от 26 июля 2016 года.

Директор научного центра
инновационного и технологического развития,
перспективного планирования
к.т.н.

Н.Н. Краснов

Начальник отделения навигационных систем

Е.Н. Жегалов

Почтовый адрес 140185, Московская область, г. Жуковский, ул. Туполева д.18
телефон: (495)556-23-22, доб. 13-53.

Организация, место работы: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт авиационного оборудования»

Электронная почта: info@niiio.com